

PERMANENT MAGNET TYPE MOTOR

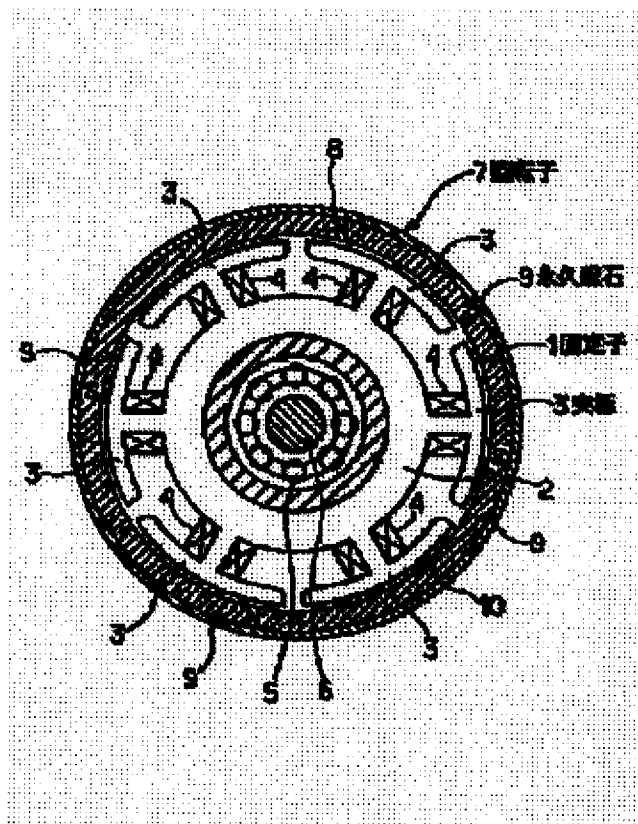
(2)

Publication number: JP11069679
 Publication date: 1999-03-09
 Inventor: YOKOYAMA MITSUYUKI
 Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO
 Classification:
 - International: H02K1/14; H02K1/22; H02K1/27; H02K1/14; H02K1/22; H02K1/27; (IPC1-7): H02K1/27; H02K1/14; H02K1/22
 - European:
 Application number: JP19970228199 19970825
 Priority number(s): JP19970228199 19970825

Report a data error here

Abstract of JP11069679

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce torque unevenness by forming a structure in which number of poles of a rotor and the number of the salient poles of a stator are specified, while forming a skew graded within the range of a specific electrical angle to the axis of rotation on a boundary between the unlike poles of a permanent magnet. **SOLUTION:** The number of poles of a rotor 7 is desirably 4 and the number of the salient poles of a stator 1 is desirably 6, and permanent magnets 9 are formed in magnetizing structure, in which skews graded at a specified electrical angle to the axis of rotation are formed on boundary lines among N poles and S poles. In torque unevenness under the energization of an armature, a skew angle, where the square root of the square sum of the quinary high-harmonic component and septimal high-harmonic component of a air-gap magnetic flux density is reduced, regarding these high-harmonic components may be selected. The skew angle (the electric angle) of 60-80 deg is set desirably as the result of calculation. Accordingly, torque unevenness under the energization of an armature coil can be lowered optimally.

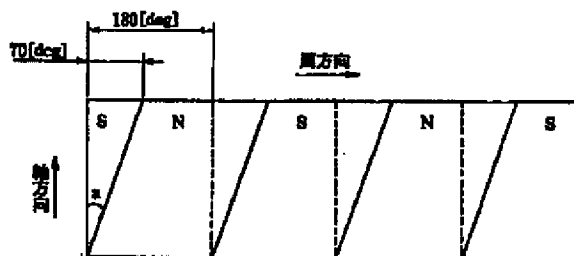


Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成11年(1999)3月9日

審査請求 未請求 請求項の数 4 OL (全 9 頁)



【特許請求の範囲】

【請求項1】 周方向に配設した複数個の突極に集中巻により3相電機子巻線を巻回してなる固定子と、永久磁石を周方向に交互に異極が隣接するよう配設した回転子とから構成されるラジアル形モータであって、 n を1以上の整数としたとき、前記回転子の磁極数が $2n$ 、前記固定子の突極数が $3n$ である構造をなすと共に、前記永久磁石の異極間の境界に回転軸線に対して電気角 60 [deg]ないし 80 [deg]の範囲内で傾斜させたスキューを設けたことを特徴とする永久磁石形モータ。

【請求項2】 スキューの傾斜角が電気角 70 [deg]である請求項1記載の永久磁石形モータ。

【請求項3】 周方向に配設した複数個の突極に集中巻により3相電機子巻線を巻回してなる固定子と、永久磁石を周方向に交互に異極が隣接するよう配設した回転子とから構成されるラジアル形モータであって、 n を1以上の整数としたとき、前記回転子の磁極数が $2n$ 、前記固定子の突極数が $3n$ である構造をなすと共に、前記永久磁石の異極間の境界に夫々回転軸線に対して電気角 60 [deg]ないし 80 [deg]の範囲内で傾斜させた2つのスキューを設け、これら2つのスキューの間に挟まれた領域を無着磁領域としたことを特徴とする永久磁石形モータ。

【請求項4】 2つのスキューの傾斜角が夫々電気角 60 [deg]と電気角 80 [deg]である請求項3記載の永久磁石形モータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電機子コイル通電下でのトルクむらを低減するのに好適なスキューをもつ永久磁石形モータに関する。

【0002】

【従来の技術】周知のように、永久磁石形モータ、中でも突極構造を有するものにおいては、突極を有する電機子鉄心と界磁部である永久磁石との間の相対的な幾何学的位置関係によってリラクタンスが変化し、磁極各部に作用する力が回転軸に対して対称とならないため、いわゆるコギングトルクが発生し、それがトルクむらや振動の原因となる。

【0003】こうしたコギングトルクを低減する一つの方法として、従来より、回転子永久磁石の異極間の境界にスキューを設け、突極と永久磁石との間の幾何学的位置関係を軸方向に対し平均化することが行われている。例えば、特開平1-8853号公報に示されるように、固定子界磁鉄心の突極数を回転子永久磁石の磁極数の1.5倍としたブラシレスモータにおいて、固定子界磁鉄心の突極を形成するスロット間隔の $1/2$ に相当する角度のスキューを回転子永久磁石に設ける。これは、コギングトルクの実測波形に、固定子界磁鉄心の突極数の2倍にあたるピークが現れることに着目したものであ

る。

【0004】さらに、特開平2-74136号公報には、回転子の磁極数が4、固定子の突極数が6の永久磁石形モータにおいて、回転子の永久磁石に中心軸方向から機械角 45 [deg]のスキューを設ける手段が示されている。これは、回転力が作用する磁束分布状態と固定力が作用する磁束分布状態をバランスさせることに着目したものである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、永久磁石形モータを駆動する場合に発生するトルクむらには、上述のコギングトルクの他に、電機子コイル通電下でのトルクむらがある。この電機子コイル通電下でのトルクむらは、3相Y結線を施した電機子巻線（電機子コイル）に3相正弦波電流を流した駆動状態において、界磁部である永久磁石がつくる空隙磁束密度が周方向に対して正弦波分布とならず、その結果、空隙磁束密度が高調波成分、特に第5次及び第7次の高調波成分を有するために生ずるものである。つまり、永久磁石形モータにおいては、固定子に巻回された電機子巻線に多相交流電流を流すことにより発生する回転磁界と、回転子に配設された永久磁石の界磁との相互作用としての吸引力または反発力によりトルクが発生するので、永久磁石がつくる空隙磁束密度に高調波成分が存在すると、その高調波成分に対応したトルクむらが発生する。この場合、空隙磁束密度の第 $3n$ 次高調波成分（ n は1以上の整数）に対応したトルクについては、3相電機子電流による回転磁界との相互作用において打ち消されるため発生しない。

【0006】こうした電機子コイル通電下でのトルクむらに対して、永久磁石がつくる空隙磁束密度を正弦波に近づける手段として、従来から、永久磁石の半径方向の厚みを周方向に対し順次変化させるなどの方法が用いられてきた。しかし、永久磁石を厚み方向に精度よく加工するのは生産性の面で問題がある。また、コギングトルクを減少させる目的から、永久磁石に上述したようなスキューを設けると、コギングトルクのみならず電機子コイル通電下でのトルクむらもある程度低減させることができるが、従来用いられてきたスキューにおいては、この電機子コイル通電下でのトルクむらは設計上考慮されていなかった。

【0007】本発明は、上記の事情に鑑みてなされたもので、その目的は、電機子コイル通電下でのトルクむらを低減するための最適なスキューをもつ永久磁石形モータを提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の永久磁石形モータは、周方向に配設した複数個の突極に集中巻により3相電機子巻線を巻回してなる固定子と、永久磁石を周方向に交互に異極が隣接するよう配設した回転子から構成されるラジアル形モータ

であって、 n を1以上の整数としたとき、前記回転子の磁極数が $2n$ 、前記固定子の突極数が $3n$ である構造をなすと共に、前記永久磁石の異極間の境界に回転軸線に対して電気角 $60[\text{deg}]$ ないし $80[\text{deg}]$ の範囲内で傾斜させたスキューを設けたことを特徴とする。

【0009】かかる構成の発明によれば、永久磁石のつくる空隙磁束密度の高調波成分のうち、第5次及び第7次の高調波成分の2乗和の平方根を極小化することができ、発生トルクの減少分も小さいので、電機子コイル通電下でのトルクむらを効率良く最適に低減することができる。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明の第1実施例を図1ないし図7に基づいて説明する。図2は永久磁石形モータの軸直角断面図を示している。永久磁石形モータの内周側に位置し、図示しない静止部位に取り付けられた固定子1は、等幅の6つの突極3を等間隔に備えた電機子鉄心2と、突極3に集中巻で巻回され3相Y結線をなす電機子巻線（電機子コイル）4とを有して構成されている。そして、図示しない静止部位には軸受5を介して回転軸6が挿通支承されており、この回転軸6には電機子鉄心2を包囲する形態で回転子7が連結されている。

【0011】この回転子7は、円筒状の回転子ヨーク8と、その回転子ヨーク8の内周面に取着されている永久磁石9とにより構成されている。この永久磁石9は、周方向に交互に異極が隣接するように2つのN極と2つのS極（磁極数4）とが等幅に着磁されており全体として円環形状をなすと共に、その内周面と前記突極3との間に空隙（ギャップ）10を有している。この場合、回転子7の磁極数が4、固定子1の突極数が6であるので、その比が2：3となる構造となっている。さらに、永久磁石9の周方向への展開を示す図1を参照すると、永久磁石9はN極とS極との間の境界線が回転軸線（その軸線方向を軸方向と称する）に対して電気角 $70[\text{deg}]$ の角度 α を示すように傾斜させたスキューを設けた着磁構造をなしている。

【0012】さて、上記構成の永久磁石形モータは、例えば図3に示すインバータ回路等により駆動される。図3において、直流電源11の正端子と負端子に接続され

た正側直流電源線12と負側直流電源線13との間には、例えばトランジスタ等のスイッチング素子14～19を三相ブリッジ接続してなるスイッチング手段38が接続されている。これらスイッチング素子14～19には、夫々還流ダイオード20～25が並列に接続されており、さらに、夫々のベースにはベース駆動回路26～31がベース抵抗32～37を介して接続されている。これらベース駆動回路26～31は、図示しない位置検出手段、速度制御手段、通電制御手段等から構成される駆動制御回路と接続されている。また、前記スイッチング手段38の出力線39u、39v、39wには、永久磁石形モータ40の3相Y結線された電機子巻線41u、41v、41wが接続されている。これら41u、41v、41wは、図2に示す前記電機子巻線4を構成する。

【0013】なお、本発明の目的は、永久磁石形モータの電機子コイル通電下でのトルクむらの低減に最適なスキュー角を設定することにあるので、トルクむらの他の発生要素、例えば電機子電流自体が歪んでいるような場合を除いて考慮する必要がある。そこで、以下においては上記インバータ回路を用いて3相Y結線された電機子巻線に3相正弦波電流を流して駆動した場合について説明する。

【0014】以下に、上記スキュー角を電気角 $70[\text{deg}]$ に設定した論拠について図4から図7を参照して詳述する。まず、 n を1以上の整数としたとき、図2に示すように回転子の磁極数が $2n$ 、固定子の突極数が $3n$ である2：3構造を有し、永久磁石に希土類を用いた永久磁石モータについて、スキュー角 $0[\text{deg}]$ のモータモデルを設定する。そして、このモータモデルに対し有限要素法を用いた磁界解析を行い空隙磁束密度を求める。さらに、この空隙磁束密度に対して周波数分析を行い、空隙磁束密度の各次高調波成分を算出すると下表に示す結果が得られる。表に示す通り偶数次の高調波成分は存在せず、また、第31次以上の高調波成分についてはその記載を省略した。

【0015】

【表1】

現状モデルにおける空隙磁束密度の高調波成分表

基本波	第3次	第5次	第7次	第9次
0.483735	0.1381	0.0729	0.0477	0.0349
第11次	第13次	第15次	第17次	第19次
0.0284	0.0261	0.0208	0.0181	0.0162
第21次	第23次	第25次	第27次	第29次
0.0146	0.0132	0.0128	0.012	0.011

単位：[T]

【0016】次に、上表1に示すスキュー角 0 [deg] について得られた高調波成分を基に、スキューを設けた場合の空隙磁束密度の各次高調波成分を計算する。この計算に際しては、各軸方向位置における空隙磁束密度の各次高調波成分の位相は、スキューによる磁極の周方向の変位に相当する角度だけ順次ずれるものとし、製造誤差や着磁誤差等については考慮していない。

$$b(0, z, \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} S_0(2n+1) \cdot \sin \{ (2n+1) \theta \} \quad \cdots (1)$$

$b(0, z, \theta)$: スキュー角 0 、軸方向位置 z 、角度位置 θ の空隙磁束密度
 $S_0(m)$: スキュー角 0 における空隙磁束密度第 m 次高調波成分
 z : 軸方向位置
 θ : 角度位置

【0019】これに対し、スキュー角(機械角) a [deg] を設けた場合には、軸方向位置 z でのスキューによる変位角度(電気角)を x [rad] とすれば、軸方向位置 z 、角度位置 θ での空隙磁束密度 $b(a, z, \theta)$ は式2に示すようになる。なお、スキューによる変

$$b(a, z, \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} S_0(2n+1) \cdot \sin \{ (2n+1) (\theta + x) \} \quad \cdots (2)$$

$b(a, z, \theta)$: スキュー角 a 、軸方向位置 z 、角度位置 θ の空隙磁束密度
 a : スキュー角度(機械角) [deg]
 x : 軸方向位置 z でのスキューによる変位角度(電気角) [rad]

【0021】この場合において、軸方向位置 z でのスキューによる変位角度(電気角) x [rad] とスキュー角(機械角) a [deg] との間の関係を、図4と図5を参照しながら説明する。図4には永久磁石の斜視図が、図5にはその永久磁石の周方向への1極対分の展開図が示してある。2つのN極と2つのS極を有した円環形状の永久磁石は、その内周半径が r 、有効軸方向寸法が L で、異極間にはスキュー角(機械角) a [deg] を設けた構造をなしている。図5に示す1極対の周方向

$$x = \frac{P \cdot z \cdot \tan a}{2r} [\text{rad}]$$

P : 磁極数

r : 磁石(対抗面側)半径寸法

【0023】スキューを設けたことにより軸方向に対し平均化される空隙磁束密度の第 m 次高調波成分平均値 $B_m(\psi, \theta)$ は、式2を軸方向位置 z について積分平均すればよく、永久磁石の有効軸方向寸法位置 L におけるスキューによる全体の変位角度(電気角)を ψ [rad]

【0017】今、スキュー角 0 [deg] における空隙磁束密度の第 m 次高調波成分を $S_0(m)$ とすれば、軸方向位置 z 、角度位置 θ でのスキュー角 0 [deg] における空隙磁束密度 $b(0, z, \theta)$ は、式1に示す通りである。

【0018】

【式1】

位角度(電気角)とは、スキューにより磁極が周方向に変位した寸法を電気角で表したものである。

【0020】

【式2】

角度は電気角で 2π [rad] で、その長さ寸法は磁極数を P として $2\pi r \cdot (2/P)$ で表される。従って、軸方向位置 z でのスキューによる変位角度(電気角) x [rad] とその長さ寸法 X との間には、 $X = x \cdot (2r/P)$ なる関係が成り立つ。この関係をスキュー角に対する式である $\tan(a) = X/z$ に適用すれば、次の式3が得られる。

【0022】

【式3】

$$\cdots \cdots (3)$$

d とすれば、式2に $x = \psi \cdot (z/L)$ の関係を適用して式4に示すように導出できる。

【0024】

【式4】

$$\overline{B_m}(\phi, \theta) = S_0(m) \cdot \frac{1}{L} \cdot \int_0^L \sin(m\theta + m\phi \frac{z}{L}) dz \quad \dots (4)$$

$\overline{B_m}(\phi, \theta)$: スキュー幅 ϕ 、角度位置 θ の空隙磁束密度第 m 次高調波成分軸方向平均値分布

ϕ : スキュー角 α 、磁石有効軸方向寸法 L におけるスキューによる全体の歪位角度 (電気角) [rad]

L : 磁石有効軸方向寸法

【0025】さて、図6は、以上のようにして導出された空隙磁束密度の第 m 次高調波成分 (平均値) $\overline{B_m}(\phi, \theta)$ とスキュー角との関係を示すものである。この図6において、その縦軸は空隙磁束密度の高調波成分を表し、その横軸はスキュー角 (電気角) [deg] を表す。図6には、①から④で指示する5本の線が描かれており、これらは①から順に空隙磁束密度の基本波成分、第3次高調波成分、第5次高調波成分、第7次高調波成分、および第5次高調波成分と第7次高調波成分の2乗和の平方根を表している。この内①から④までは左側縦軸の磁束密度値を適用し、⑤については右側縦軸の磁束密度値を適用する。

【0026】電機子コイル通電下でのトルクむらは、前述したように空隙磁束密度の第 n 次高調波成分は影響せず、また第1次以上の高調波成分は十分に小さいものとすれば、結局、空隙磁束密度の第5次高調波成分と第7次高調波成分についてこれらの2乗和の平方根が小さくなるスキュー角を選べば良い。図6において上記第5次高調波成分と第7次高調波成分の2乗和の平方根が

最小となるのは、スキュー角 (電気角) が約145～150 [deg] のときである。しかしながら、スキュー角を大きくするとトルクを発生させる基本波成分も減少し、上記145～150 [deg] のスキュー角では発生トルクが30%近くも減少するので適当でない。そこで、第5次高調波成分と第7次高調波成分の2乗和の平方根が極小となる60 [deg]～80 [deg]、特に70 [deg] のスキュー角 (電気角) を設定する。この70 [deg] のスキュー角 (電気角) における空隙磁束密度の高調波成分を下表に、また参考までに磁束密度分布を図7に示す。このときにはスキュー角0 [deg] の場合に比べ、発生トルクは約94%を出力でき、かつ、第5次高調波成分と第7次高調波成分の2乗和の平方根は約1/10に減少するので、電機子コイル通電下でのトルクむらを最適に低減することができる。

【0027】

【表2】

スキュー角70度における空隙磁束密度の高調波成分表

基本波	第3次	第5次	第7次	第5次と第7次の2乗和の平方根
0.453442	0.071245	0.001027	0.01023	0.01023

単位: [T]

【0028】次に、本発明の第2実施例を図8ないし図10を参照して説明する。図8は回転子永久磁石9の周方向への展開図で、磁性粉体により成形した加工容易な永久磁石9は、N極とS極との間の境界に夫々回転軸線に対して電気角60 [deg] および80 [deg] の角度で傾斜させた2つのスキューを設け、これら2つのスキューの間に挟まれた領域を無着磁領域Dとした着磁構造をなしている。

【0029】図9は、スキュー角をパラメータとして、空隙磁束密度の第5次高調波成分と第7次高調波成分の2乗和の平方根の周方向分布を示したもので、その縦軸は磁束密度を、横軸は周方向位置 (電気角) を表している。①から④で指示された線は、夫々、細実線①が70 [deg] の単一のスキュー、一点鎖線②が65 [deg] と75 [deg] のスキュー、太実線③が60 [deg] と80 [deg] のスキュー、破線④が55 [deg]

と85 [deg] のスキューを設けた場合の磁束密度である。そして、夫々の線に対する指示位置は、磁束密度が最大値を呈する点を表している。これら最大値は、①から④の順に0.010291 [T]、0.009441 [T]、0.008325 [T]、および0.01067 [T] であり、60 [deg] と80 [deg] のスキューを設けたときが最も小さくなることが分かる。この場合における空隙磁束密度の高調波成分を下表に、また参考までに磁束密度分布を図10に示す。このときには、70 [deg] の単一のスキューを用いた第1実施例に比べ発生トルクを減少させることなく、第5次高調波成分と第7次高調波成分の2乗和の平方根がさらに約20%減少するので、電機子コイル通電下でのトルクむらも同様に約20%低減することができる。

【0030】

【表3】

スキュー角60度と80度における空隙磁束密度の高調波成分表

基本波	第3次	第5次	第7次	第5次と第7次の2乗和の平方根
0.450179	0.068691	0.004346	0.00677	0.008325

単位: [T]

【0031】以上述べたように、本実施例においては、空隙磁束密度の高調波成分に起因して電機子コイル通電下でのトルクむらをスキューを設けて最適に低減するため、スキューを設けない現状のモータモデル（磁極数4、突極数6）の空隙磁束密度について磁界解析及び周波数分析を行い、それから得られた空隙磁束密度に基づいて、スキューを設けた場合の空隙磁束密度を理論式により算出した。その結果、電機子コイル通電下でのトルクむらの主要因である空隙磁束密度の第5次高調波成分と第7次高調波成分の2乗和の平方根が極小となり、しかも発生トルクの減少が小さいスキュー角（電気角）として60[deg]から80[deg]、特に70[deg]が最適であることが明らかになった。そして、60[deg]および80[deg]の角度（電気角）で傾斜させた2つのスキューを設け、これら2つのスキューの間に挟まれた領域を無着磁領域とする着磁構造とすれば、さらに約20%の電機子コイル通電下でのトルクむらの低減を図ることができる。

【0032】なお、本発明は上記し且つ図面に示す実施例に限定されるものではなく、以下のような拡張または変更が可能である。一般にコギングトルクを低減するため、空隙磁束密度の第3次高調波成分が0になる120[deg]のスキュー角（電気角）（図6の②参照）を設けたり、その他の高調波成分まで含めて0に近くなる90[deg]のスキュー角（電気角）を設けたりする。このような従来からのコギングトルク低減を目的としたスキューの設定においても、本実施例において導出した図6に従って、60[deg]ないし90[deg]、又は120[deg]ないし180[deg]のスキュー角（電気角）とすることにより、電機子コイル通電下でのトルクむらも大幅に低減することができる。

【0033】

【発明の効果】請求項1の発明では、磁極数と突極数の比が2:3である永久磁石形モータにおいて、空隙磁束密度の第5次高調波成分と第7次高調波成分の2乗和の平方根が極小に近く、しかも発生トルクの減少分も小

いので、効率良く電機子コイル通電下でのトルクむらを低減することができる。なお、この場合において、電機子コイル通電下でのトルクむらだけでなく、コギングトルクも低減することができる。

【0034】請求項2の発明では、空隙磁束密度の第5次高調波成分と第7次高調波成分の2乗和の平方根が極小となり、スキューを設けないときに比べ電機子コイル通電下でのトルクむらを約1/10に低減できる。また、スキューに伴う発生トルクの減少分も6%程度に抑えることができる。

【0035】請求項3及び4の発明では、異なる角度を有する2つのスキューを設けているので、1つのスキューを設けた場合に比べ、さらに約20%の電機子コイル通電下でのトルクむらを低減できる。なお、この場合においても、電機子コイル通電下でのトルクむらだけでなく、コギングトルクも低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例を示す永久磁石の展開図

【図2】永久磁石形モータの軸直角断面図

【図3】永久磁石形モータ駆動回路の構成図

【図4】モータモデルの永久磁石の斜視図

【図5】図4の永久磁石の展開図

【図6】スキュー角と高調波成分との関係を示す図

【図7】スキュー角70[deg]における空隙磁束密度分布図

【図8】本発明の第2実施例を示す図1相当図

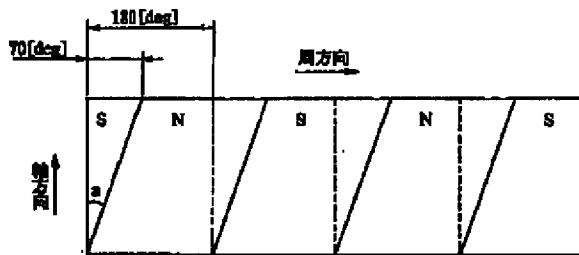
【図9】空隙磁束密度の第5次高調波成分と第7次高調波成分の2乗和の平方根の周方向分布図

【図10】スキュー角60[deg]と80[deg]における空隙磁束密度分布図

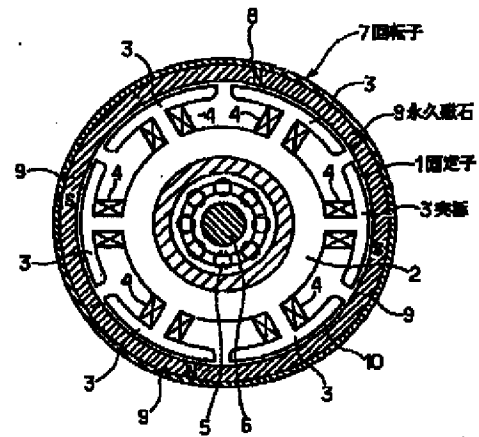
【符号の説明】

図中、1は固定子、3は突極、4は電機子巻線（電機子コイル）、7は回転子、9は永久磁石、11は直流電源、14～19はスイッチング素子、38はスイッチング手段、40は永久磁石形モータである。

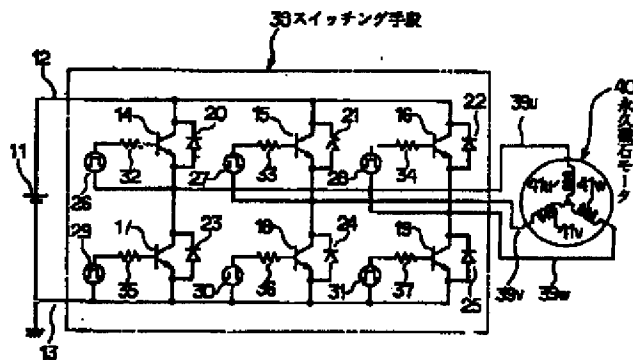
【図1】



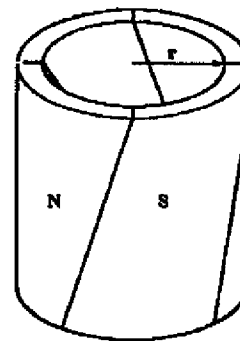
【図2】



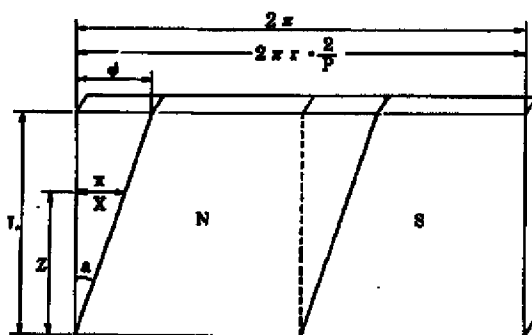
【図3】



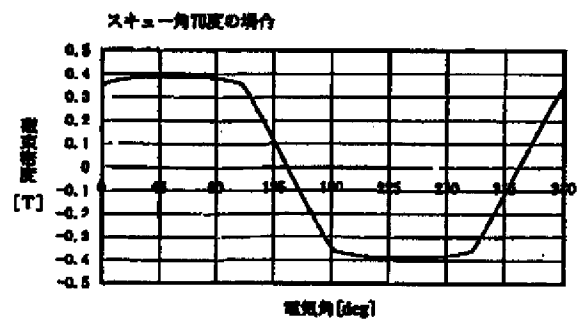
【図4】



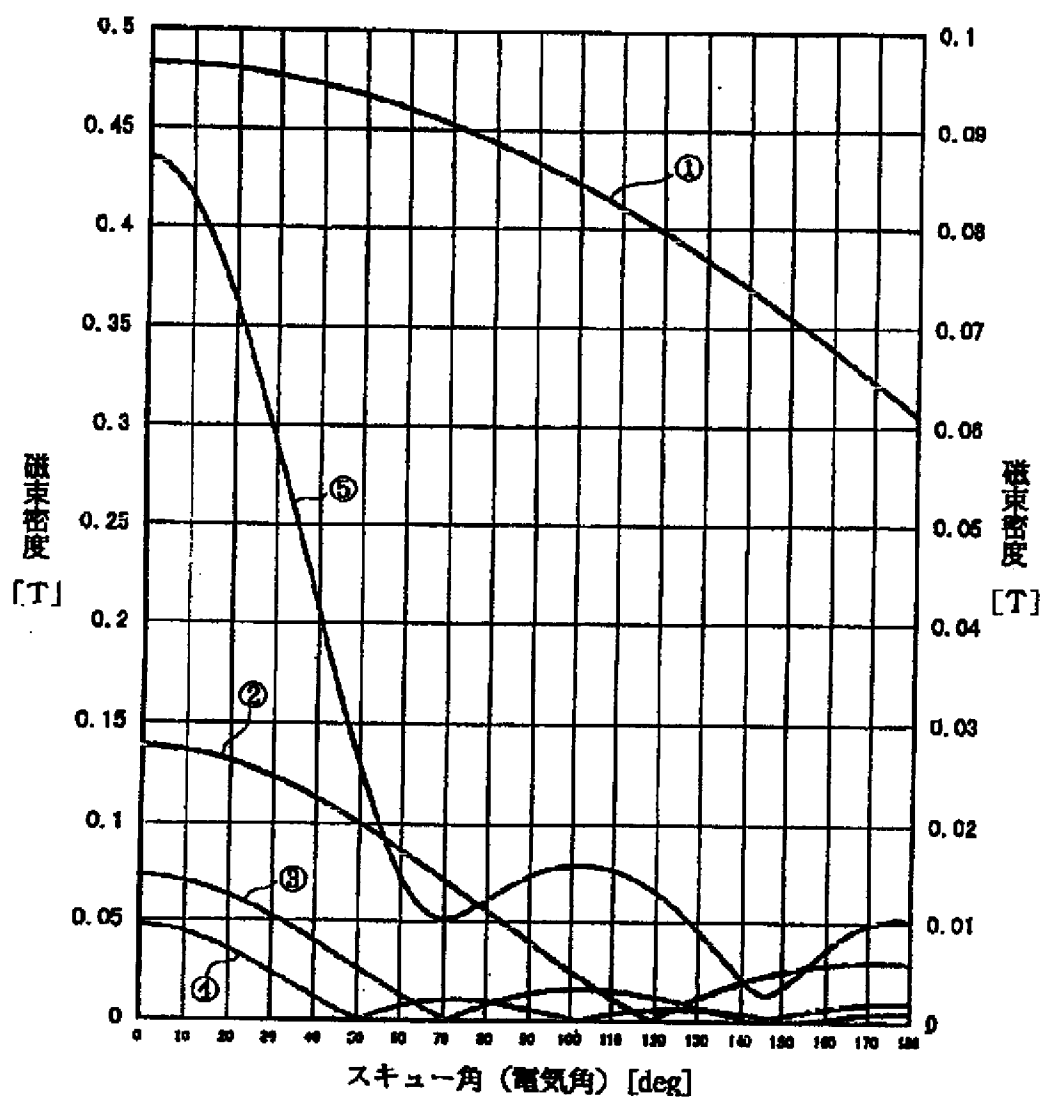
【図5】



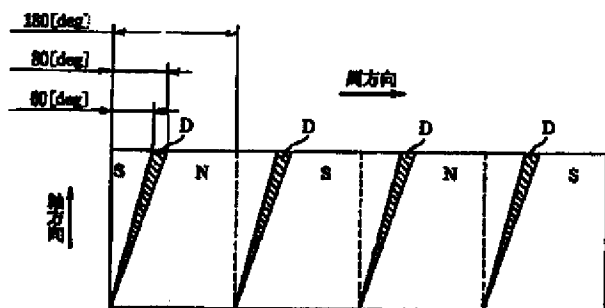
【図7】



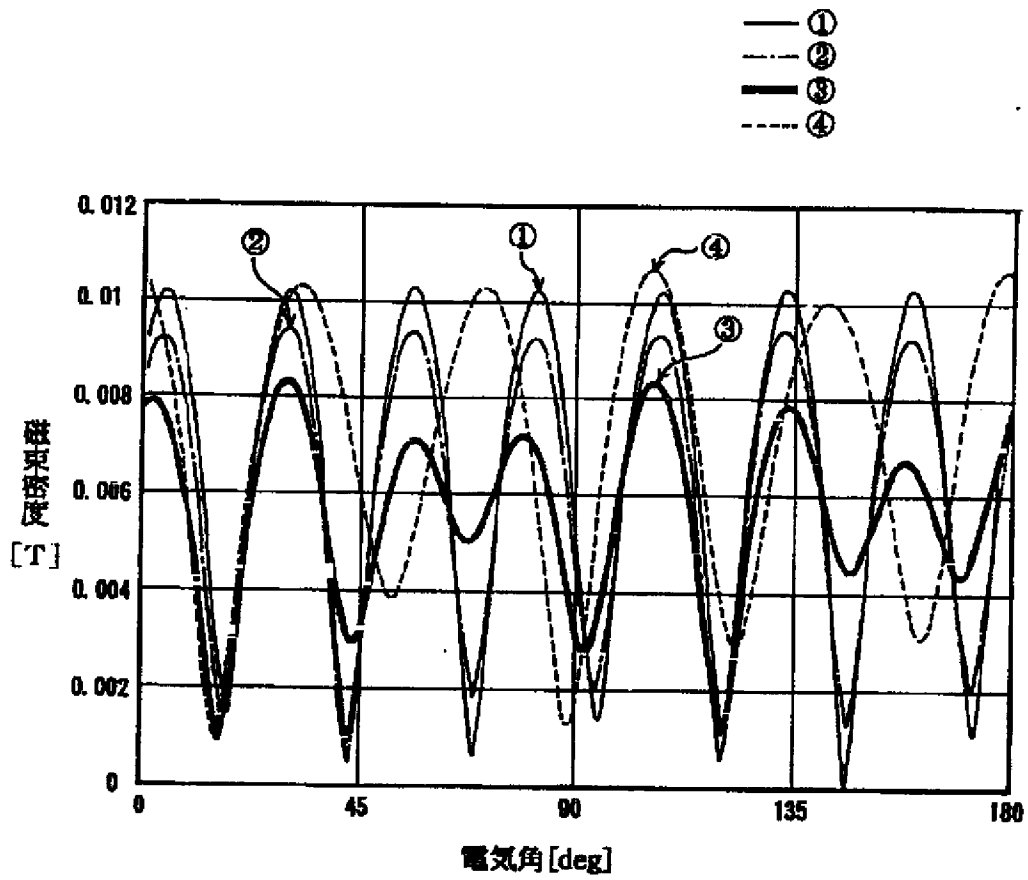
【図6】



【図8】



【図9】



【図10】

